Introduction dans les théories de la relativité

Nicolae Sfetcu

25.01.2019

Sfetcu, Nicolae, « Introduction dans les théories de la relativité », SetThings (25.01.2019), MultiMediaPublishing (ed.), DOI: 10.13140/RG.2.2.23756.26249, URL =https://www.telework.ro/fr/introduction-dans-les-theories-de-la-relativite/

Email:nicolae@sfetcu.com

Ceci est une traduction partielle de l'article :

Extrait de:
Sfetcu, Nicolae, "*Lessingularitéscommelimitesontologiques de la relativitégénérale* ", SetThings (2019), MultiMediaPublishing(ed.), DOI: 10.13140/RG.2.2.28102.01606, ISBN: 978-606-033-272-5, URL = https://www.telework.ro/fr/e-books/les-singularites-comme-limites-ontologiques-de-la-relativite-generale/

La théorie classique et la relativité restreinte

La gravité classique newtonienne admet une description géométrique. Avec la relativité restreinte, il permet une description heuristique de la relativité générale (RG). Le mouvement inertiel en mécanique classique est lié à la géométrie de l'espace et du temps, pratiquement le long des géodésiques dans lesquelles les lignes du monde sont des lignes droites dans l'espace-temps relativiste. (Ehlers 1973) En raison du principe d'équivalence entre les masses inertielle et gravitationnelle, lorsqu'on considère la gravité, aucune distinction n'est faite entre le mouvement inertiel et la gravité. Cela permet de définir une nouvelle classe de corps en chute libre, définissant une géométrie de l'espace et du temps par un mouvement géodésique dépendant du gradient du potentiel gravitationnel. D'où la théorie de Newton-Cartan, une formule géométrique de la gravité newtonienne dans un espace-temps incurvé utilisant uniquement des concepts covariants. (Ehlers 1973)(Havas 1964)

La gravité géométrique newtonienne est un cas limite de la mécanique relativiste spéciale. Là où la gravité peut être négligée, la physique est un invariant Lorentz comme dans la relativité plutôt qu'un invariant Galilée comme dans la mécanique classique. (Giulini 2006)

La symétrie Lorentz implique des structures supplémentaires à travers des cônes de lumière définissant une structure causale[1]. Les cônes de lumière peuvent être utilisés avec les lignes du monde pour les corps en chute libre pour reconstruire la métrique espace-temps semi-riemannien, au moins jusqu'à un facteur scalaire positif, donnant une structure (ou géométrie) conforme.

[1]Pour chaque événement A, il existe un ensemble d'événements d'observateurs indépendants qui peuvent, en principe, influencer ou être influencés par A par le biais de signaux ou d'interactions ne devant pas voyager plus vite que la lumière, ainsi qu'un ensemble d'événements pour lesquels cette influence est impossible.

Si la gravité est prise en compte, les lignes droites temporelles définissant un cadre inertiel sans gravité sont courbes, ce qui entraîne une modification de la géométrie de l'espace-temps. (Schutz and Schutz 1985)

Le temps correct mesuré avec des horloges dans un champ gravitationnel ne suit pas les règles de la relativité restreinte (il n'est pas mesuré par la métrique de Minkowski), ce qui nécessite une géométrie courbe plus générale de l'espace, avec une métrique pseudo-riemannienne naturellement associée à un certain type de connexion, la connexion Levi-Civita, qui satisfait au principe d'équivalence et rend l'espace local minkowskien. (Ehlers 1973)

En novembre 1915, à l'Académie des sciences de Prusse, Einstein a présenté les équations de champ[2] incluant la gravité, qui spécifient comment la géométrie de l'espace et du temps est influencée par la matière et le rayonnement.

La relativité générale

Selon la relativité générale (RG), la force gravitationnelle est une manifestation de la géométrie de l'espace-temps local. RG est une théorie métrique de la gravité. Il est basé sur les équations d'Einstein, qui décrivent la relation entre la géométrie d'une variété pseudo-riemannienne à quatre dimensions, représentant l'espace-temps et l'énergie-impulsion contenu dans cet espace-temps. La gravité correspond aux modifications des propriétés spatiales et temporelles, qui à leur tour modifient les chemins des objets. La courbure est causée par l'énergie-impulsion de la matière. Selon John Archibald Wheeler, l'espace-temps indique à la

[2] Les équations de champ d'Einstein :

$$G_{\mu\nu} \equiv R_{\mu\nu} - (1/2)Rg_{\mu\nu} = (8\pi G/c^4)T_{\mu\nu}$$

où$G_{\mu\nu}$est le tenseur d'Einstein, une combinaison spécifique sans distinction entre le tenseur de Ricci $R_{\mu\nu}$ et les métriques, et $T_{\mu\nu}$est le tenseur énergie-impulsion. La constante de proportionnalité peut être fixée à $k = 8\pi G/c^4$, où G est la constante gravitationnelle et c la vitesse de la lumière. Dans le vide, $R_{\mu\nu} = 0$.

matière comment se déplacer, et la matière indique à l'espace-temps comment se courber. (Wheeler 1990)Pour les champs gravitationnels faibles et les vitesses faibles par rapport à la vitesse de la lumière, les prédictions de la théorie convergent vers celles de la loi de la gravité universelle de Newton.

RG montre une covariance générale (les lois ont la même forme dans tous les systèmes de coordonnées) et ne contiennent pas de structures d'arrière-plan géométriques invariantes (elles sont indépendantes de la forme réelle de l'espace-temps et de la valeur des divers champs). Fondamentalement, le principe d'équivalence est valable au niveau local, l'espace-temps est minkowskien et les lois de la physique manifestent l'invariance locale de Lorentz. (Weinberg 1972)

En RG, la matière et la géométrie doivent satisfaire les équations d'Einstein. Une solution à ces équations est un modèle d'univers avec d'éventuelles lois supplémentaires régissant la matière. Les solutions exactes les plus connues sont celles qui correspondent à un certain type de trou noir dans un univers vide (Chandrasekhar 1998) (la solution de Schwarzschild, la solution de Reissner-Nordstrom et la métrique de Kerr), qui décrivent un univers en expansion (les univers Friedmann-Lemaitre-Robertson-Walker et Sitter), l'univers Gödel (avec la possibilité de voyager dans le temps), la solution Taub-NUT (modèle d'univers homogène mais anisotrope) et l'espace anti-Sitter (récemment mis en évidence dans le contexte de la conjecture de Maldacena). (Hawking and Ellis 2008)

Dans la gravité newtonienne, la source de gravité est la masse et, en relativité spéciale, la masse fait partie d'une quantité plus générale appelée tenseur énergie-impulsion, qui comprend à la fois la densité d'énergie et la densité d'impulsion, ainsi que les contraintes (pression et

cisaillement). EnRG, l'équation du champ de gravité fait référence à ce tenseur et au tenseur de Ricci qui décrit une certaine classe d'effets de marée.

Il existe des théories alternatives aux RG construites sur les mêmes concepts, avec différentes règles et/ou contraintes résultant d'équations de champs différentes (théorie de Whitehead, théorie de Brans-Dicke, téléparalalélisme, gravité f(R), théorie d'Einstein-Cartan, etc.). (Brans and Dicke 1961)

Bibliographie

Brans, C., and R. H. Dicke. 1961. "Mach's Principle and a Relativistic Theory of Gravitation." *Physical Review* 124 (3): 925–35. https://doi.org/10.1103/PhysRev.124.925.

Chandrasekhar, Subrahmanyan. 1998. *The Mathematical Theory of Black Holes*. Clarendon Press.

Ehlers, Jürgen. 1973. "Survey of General Relativity Theory." 1973. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-010-2639-0_1.

Giulini, D. 2006. "Algebraic and Geometric Structures in Special Relativity." In *Special Relativity*, 45–111. Lecture Notes in Physics. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-34523-X_4.

Havas, Peter. 1964. "Four-Dimensional Formulations of Newtonian Mechanics and Their Relation to the Special and the General Theory of Relativity." *Reviews of Modern Physics* 36 (4): 938–65. https://doi.org/10.1103/RevModPhys.36.938.

Hawking, S. W., and G. F. R. Ellis. 2008. *The Large Scale Structure of Space-Time*. 21. printing. Cambridge Monographs on Mathematical Physics. Cambridge: Cambridge Univ. Press.

Schutz, Bernard F., and Director Bernard F. Schutz. 1985. *A First Course in General Relativity*. Cambridge University Press.

Weinberg, Steven. 1972. *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity*. Wiley.

Wheeler, John Archibald. 1990. *A Journey Into Gravity and Spacetime*. Scientific American Library.